ELETRÔNICA para todos

22

MOSFET

ROM E PROM

DADOS DOS MOSFET

O CENTRO DE CONTROLE DA INJEÇÃO

LIMITES DO OSCILOSCÓPIO

Projeto nº 22: TERMOSTATO DE 12 V

SALVAT

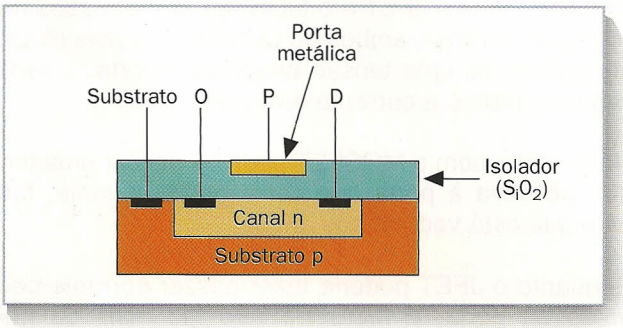
MOSFET

Os FET do canal isolador são mais práticos e versáteis do que os de união

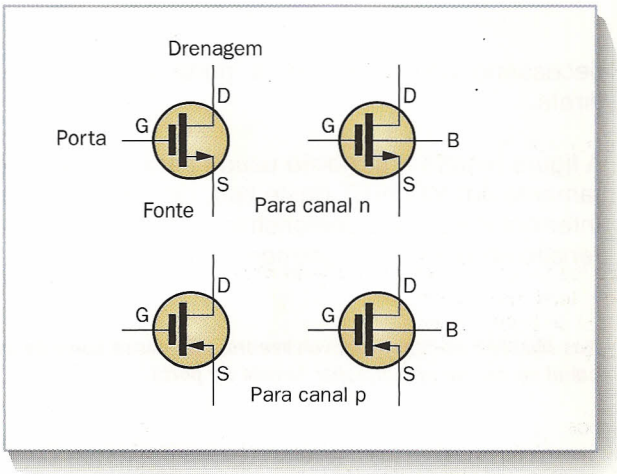
É possível realizar um transistor de **efeito de campo** (FET: Field Effet Transistor) também sem a união porta-canal característica dos JFET.

Pode ser obtido **isolando** a porta do canal com um leve estrato de bióxido de silício, um material de grande resistência.

Um FET realizado com esta **tecnologia MOS** (metal-óxido-semicondutor) recebe o nome de MOSFET: a sua estrutura aparece na figura.



Estrutura simplificada de um MOSFET: a porta metálica está muito próxima do canal condutor, mas também está muito bem isolado dele.



Alguns dos símbolos utilizados para os MOSFET de canal e de canal p; à direita está a versão que indica a ligação com o substrato (B).

SÍMBOLO E SUBSTRATO

A figura mostra o **símbolo genérico** de um MOSFET, no qual está indicado claramente o isolamento entre a porta e o canal: até mesmo no desenho não se tocam.

Existe ainda um **quarto terminal**, o do substrato (B, body: corpo) no qual o dispositivo foi realizado: este forma uma união com o canal.

Nas aplicações normais está freqüentemente **ligado** à origem, mas este fato muitas vezes nem sequer está indicado; em alguns casos não se pode sequer aceder a ele através de um contato, pelo menos neste tipo de MOSFET.

SENSIBILIDADE ELETROSTÁTICA

Devido ao fato de a porta estar isolada, a corrente requerida pelo MOSFET neste terminal é **quase nula**: nem sequer existe uma corrente mínima de perda da união dos JFET.

Em compensação, é suficiente uma mínima carga elétrica (como a originada pela deslocação de uma bolsa de plástico) para **perfurar** o ligeiro substrato isolador, danificando-o irreparavelmente.

Portanto, são necessárias **precauções** especiais para manusear ou transportar o MOSFET: por exemplo, a descarga contínua para a terra, ou utilizar tapetes e braceletes condutores especiais.

Não é necessária a energia de um raio: a eletricidade estática acumulada pelo corpo é mais do que suficiente para perfurar o isolador de um MOSFET.

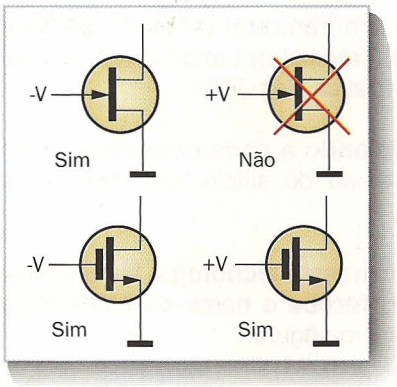
Vazamento e desenvolvimento

Existem dois tipos de MOSFET: um reduz a corrente no canal e o outro aumenta-a

Consideremos o JFET e o MOSFET já mostrados numa figura anterior, ambos do canal N: nos dois casos, se aplicarmos uma tensão **negativa** à porta, o canal fica obstruído e a corrente reduz-se.

No entanto, com o MOSFET pode-se aplicar uma tensão **positiva** à porta que corresponde à fonte, fato este que está vedado aos JFET.

Enquanto o JFET poderia fazer passar corrente pela união da porta, o MOSFET não faz mais do que **aumentar** a corrente no canal: a porta mantém-se isolada.

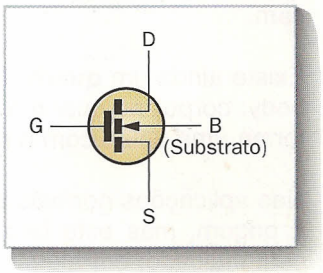


A diferença que existe entre o JFET e o MOSFET é que este último pode aplicar tensões das duas polaridades na porta.

CORRENTE APENAS SOB PEDIDO

O comportamento dos JFET e do tipo do MOSFET já descrito chama-se **vazamento**: normalmente pelo canal passa corrente, se aplicarmos tensão inversa à porta, esta reduz-se.

Também existem MOSFET do tipo **desenvolvimento**, pelos quais normalmente não passa corrente; para que passe é necessário aplicar tensão à porta com polaridade direta.



A figura mostra o **símbolo** usado para indicar explicitamente um MOSFET deste tipo, de canal N: o canal interrompe-se para demonstrar que, na ausência da tensão na porta, este permanece aberto.

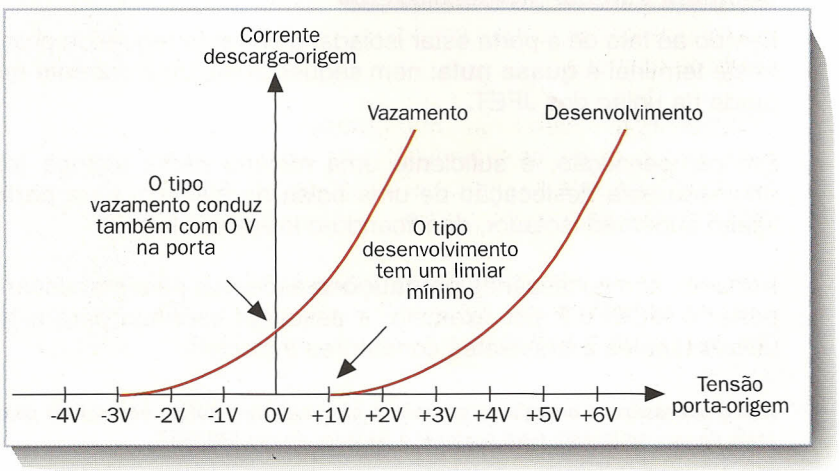
Nos MOSFET do tipo desenvolvimento, não passa corrente pelo canal se não se proporcionar tensão na porta.

SOMENTE UM DISPOSITIVO

Os MOSFET dos dois tipos são distintos, mas o **comportamento** é similar, como se pode ver no gráfico que aparece na figura, que mostra a corrente no canal quando varia a tensão da porta.

Os dois MOSFET diferem pela **tensão do limiar**: se é positiva, sempre referindo-nos a um MOSFET de canal N, não poderá passar corrente com 0 V da porta. Este será considerado, portanto, do tipo desenvolvimento.

Uma tensão do limiar negativa causará, no entanto, a **passagem da corrente** com 0 V da porta, como nos JFET, e um comportamento do tipo vazamento (prefere-se o termo pinch-off ou cutoff para a tensão do limiar).



A diferença entre os MOSFET do tipo vazamento e do tipo desenvolvimento é a tensão da porta à qual começam a conduzir (pinch-off).

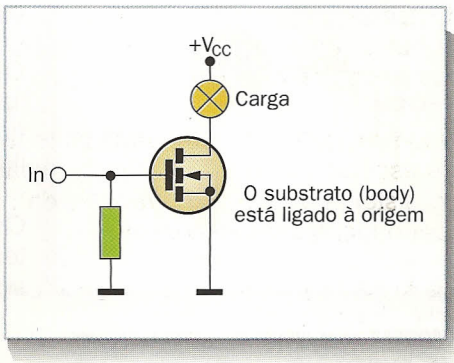
MOSFET de potência

Em muitas aplicações, estes dispositivos oferecem interessantes vantagens relativamente aos transistores BJT

Como acontece com os transistores bipolares de união (BJT) normais, também os MOSFET podem funcionar como **interruptores**.

Em particular, o tipo desenvolvimento corresponde (como um BJT) a um interruptor que está **normalmente aberto**: se lhe aplicarmos tensão, se fechará.

Quando se fecha, o MOSFET comporta-se como um **resistor de baixo valor**, sem nenhuma tensão mínima de queda (como a tensão de saturação dos BJT).



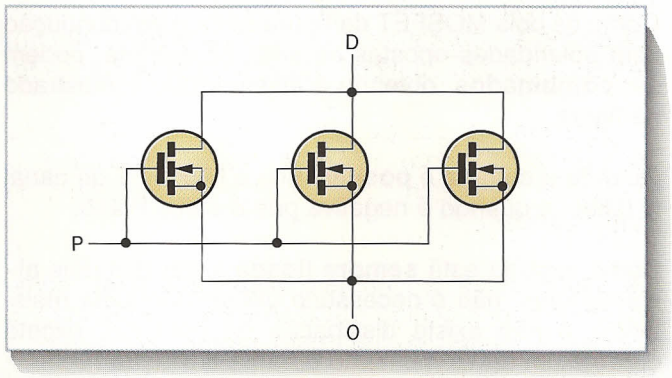
Um MOSFET pode controlar diretamente uma carga: quando está conduzindo oferece uma baixa resistência.

MENOS PROBLEMAS TÉRMICOS

Se um MOSFET aquece por causa da corrente que atravessa o canal, a sua resistência **aumenta**; portanto, pela lei de Ohm, aumenta também a tensão nos seus extremos.

Este fato permite ligar vários MOSFET em **paralelo** sem resistores de equalização (ver lição 15): a corrente tenderá a fluir nos que têm uma menor resistência, ou seja, os que são mais frios.

O mesmo balanço automático da corrente produz-se num âmbito microscópico, no interior do canal: os MOSFET são, portanto, **imunes** ao desagradável efeito de uma segunda rotura que afeta os BJT.

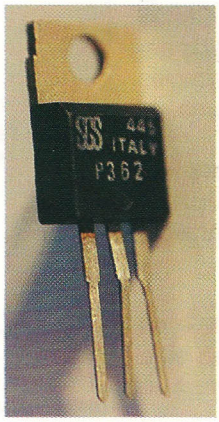


Ligando vários MOSFET em paralelo, reduz-se a resistência e aumenta-se a corrente suportável.

CAPACIDADE DA PORTA

Como acontece com os MOSFET nem sequer necessitam **corrente** da porta (se a tensão da porta não variar), pareceriam comportar-se como interruptores perfeitos e quase privados de dissipação.

Mas, como sempre, há um limite para tudo: a porta forma uma **capacidade** relativamente elevada em direção ao canal, ou seja, tanto para a origem como, infelizmente, para a descarga.

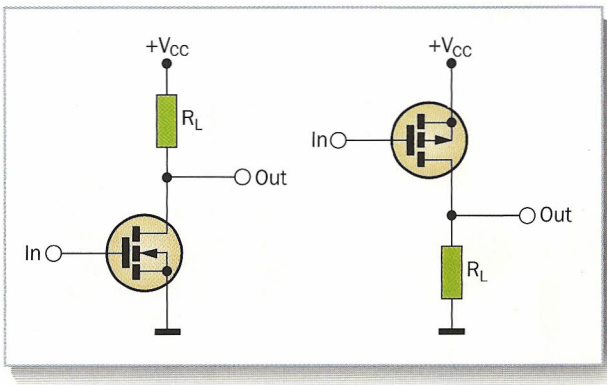


Carregar esta capacidade requer **corrente e tempo**: durante este tempo o canal é parcialmente condutor, nos seus extremos existe tensão e no seu interior circula corrente: o MOSFET dissipa potência.

Os MOSFET de potência são utilizados em numerosas aplicações, que vão dos amplificadores de áudio aos comandos dos motores elétricos.

CMOS

A utilização de MOSFET complementares tem permitido a realização dos modernos integrados digitais



Dois inversores de MOSFET com diferente polaridade: um é a imagem especular do outro.

A figura mostra duas versões do clássico interruptor de MOSFET do tipo aumento do **canal N**, comparável com um transistor NPN (ver a lição 10).

O segundo interruptor é perfeitamente **simétrico**: utiliza um MOSFET de canal P e tem a origem ligada (junto ao substrato) à alimentação positiva, em vez de ligado à massa.

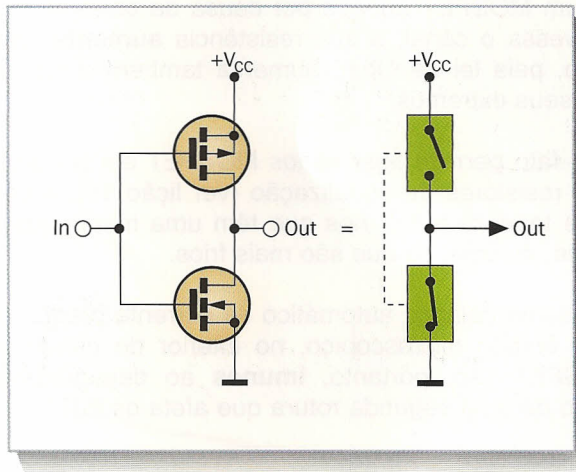
Os dois circuitos podem funcionar como **inversor** mas têm, no entanto, um inconveniente: a resistência dissipa a potência quando o MOSFET conduz a mesma.

INTERRUPTORES COMPLEMENTARES

Como os dois MOSFET da figura entram em condução com polaridades opostas ao sinal de entrada, podem ser **combinados**, obtendo o inversor que é mostrado na figura.

Quando a entrada é **positiva** põe o MOSFET de canal N baixo, e quando é negativa põe o canal P alto.

Como a saída está **sempre ligada** a um dos dois alimentadores, não é necessário utilizar nenhuma resistência e não existe dissipação da potência, exceto durante um breve momento durante a ligação.



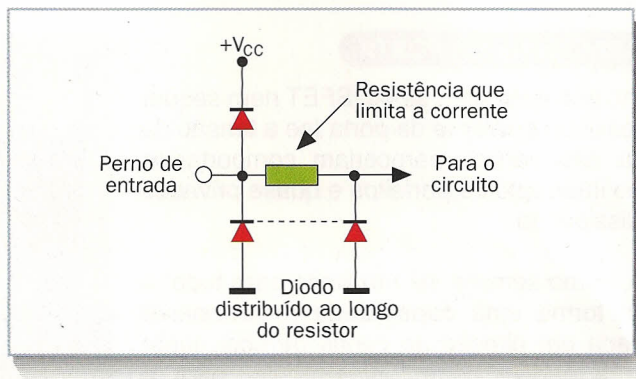
Com dois MOSFET complementares realiza-se um inversor reduzido ao essencial, mas bastante eficaz.

LÓGICA CMOS

Os inversores de **MOSFET complementar** ou CMOS (complementary MOS), são utilizados para realizar grande parte dos circuitos integrados digitais, das simples portas lógicas aos complicados microprocessadores.

São compactos, rápidos, facilmente **integráveis** em quantidade, não necessitando de componentes passivos e tendo uma dissipação bastante limitada (praticamente nula, na ausência de ligações).

Necessitam, no entanto, nos contatos de entrada e de saída de **proteções** adequadas contra as cargas electrostáticas, como por exemplo as que se mostram na figura.



Proteções típicas anti-estáticas da série 74HC; diodos e resistores são realizados com o mesmo silício.

ROM e PROM

O conteúdo de alguns tipos de memória é programado apenas uma vez e não pode ser modificado

Existem diferentes variantes de ROM ou memória **só de leitura** (ver a lição 20) que diferem em função da técnica utilizada para guardar os dados.

Nas ROM propriamente ditas, utiliza-se um **encobrimento** adequado durante os processos fotoquímicos realizados na fábrica: trata-se, portanto, de circuitos realizados à medida.

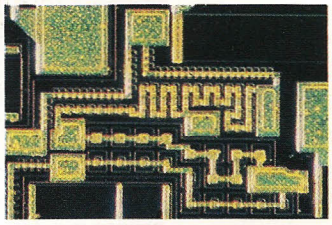
O **custo fixo** (de fabricação) é elevado, mas o custo do componente independente é bastante reduzido: esta técnica é utilizada, portanto, na produção em série a grande escala.

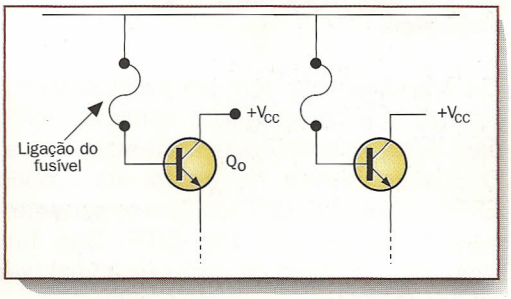
As ROM são produzidas na fábrica com o conteúdo previamente determinado pelo cliente, sendo depois impossível modificá-lo.

PROM DE FUSÍVEIS

A necessidade de realizar protótipos e pequenas séries levou ao desenvolvimento das primeiras ROM **programáveis** pelo próprio utilizador: as PROM são atualmente menos utilizadas, mas aparecem sob outras formas.
Contêm um grande número de **fusíveis** microscópicos utilizando um para cada bit, que podem ser "queimados" com um programador especial; PROM (Programmable ROM) significa "ROM programável".

Os fusíveis inteiros e os queimados correspondem aos dois **estados lógicos** (H e L ou vice-versa) que se escrevem, portanto, na PROM de forma permanente sem nenhuma possibilidade de anulação.





As PROM são programadas fazendo passar uma corrente elevada pelos micro-fusíveis que se deseja queimar.

PROGRAMADORES DE PROM

Para programar ou "escrever" uma PROM (deste ou de outro tipo) parte-se **do conteúdo** desejado; uma seqüência de dados, cada um dos quais ocupará uma célula da memória.

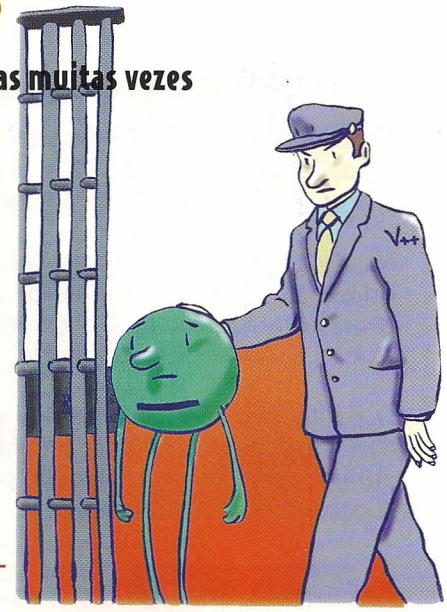
Utiliza-se normalmente um **computador pessoal** a partir do qual os dados são enviados para o programador de PROM, que é um dispositivo onde se insere o integrado que se quer programar.

Este produz as tensões e correntes adequadas para queimar os fusíveis correspondentes aos bits desejados, **verificando** depois se a programação foi realizada corretamente.

Um programador de PROM: observe o soquete especial com a alavanca que bloqueia os contatos do chip que se quer programar.

EPROM e afins

As PROM que é possível apagar podem ser reutilizadas muitas vezes



As PROM de fusíveis têm, para além da sua baixa densidade e do custo relativamente elevado, o defeito de não serem **reprogramáveis**: não é possível recuperar as ligações que estão queimadas.

Freqüentemente, resulta útil poder **alterar** os dados contidos nas células da memória, por exemplo para fazer numerosos testes experimentais diferentes, voltando a utilizar o mesmo chip.

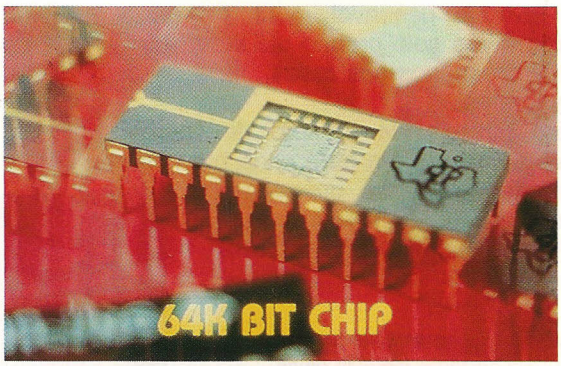
As PROM que podem ser apagadas, ou **EPROM** (Erasable ROM: ROM que se pode apagar), permitem fazê-lo através de um sistema de escrita diferente: forçam uma carga elétrica que esteja numa zona isolada e onde fique intercalada.

EPROM: uma tensão elevada que empurra os elétrons para além de uma barreira, da qual não têm bastante energia para fugir.

APAGAMENTO DAS EPROM

Para apagar uma EPROM, é necessário proporcionar aos elétrons que estão encerrados a energia suficiente para poderem se libertar: este fato é possível com a exposição aos **raios ultravioletas** de uma determinada freqüência.

O encapsulamento tem um **postigo** transparente para permitir que se apague o conteúdo; convém tapá-lo para evitar apagamentos acidentais com a luz normal. O postigo incorre no **custo**: na produção utilizam EPROM que não têm postigos e, portanto, são programáveis apenas uma vez (OTP: One Time Programming: programação de uma única vez), versão moderna das PROM.



O postigo de quartzo deixa passar os ultravioletas, que em poucos minutos apagam o conteúdo da EPROM.

Várias câmaras fotográficas digitais armazenam as fotografias na memória Flash, que conserva os dados como uma ROM mas que pode ser escrita novamente.

REPROGRAMAÇÃO RÁPIDA

As EPROM têm também um número de apagamentos limitado; além disso, a operação é **lenta** e não permite uma rápida reutilização da memória.

Deste modo nascem as E^2PROM, ou EPROM (Electrically Erasable PROM: PROM **eletricamente** possível de apagar) eletricamente possíveis de apagar, como o seu nome indica, em poucos segundos, célula por célula ou todas em conjunto, conforme os modelos.

Existe um tipo de memórias reprogramáveis, que são as **Flash**, utilizadas por exemplo nas câmaras fotográficas digitais devido à sua velocidade de escrita, que é bastante elevada.

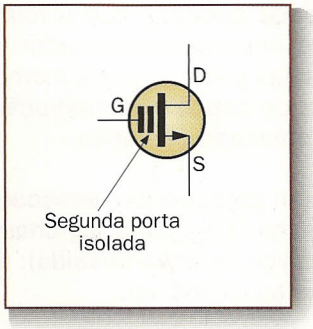
Dentro de uma EPROM

As memórias reprogramáveis podem ser realizadas se utilizarmos um MOSFET, como acontece com muitos outros integrados digitais

Nas EPROM e E²PROM, cada bit é armazenado por um transistor MOSFET de um tipo especial, dotado de uma **porta adicional** totalmente isolada (ver figura).

No interior destas portas **intercala-se** a carga elétrica, aplicando tensão suficiente para a fazer superar o isolador sem o danificar (aproveitam-se fenômenos físicos bastante complexos).

Como acontece com todos os MOSFET, a presença da carga na porta controla a **corrente** que passa pelo canal que, portanto, será distinta conforme a presença ou ausência da carga intercalada.



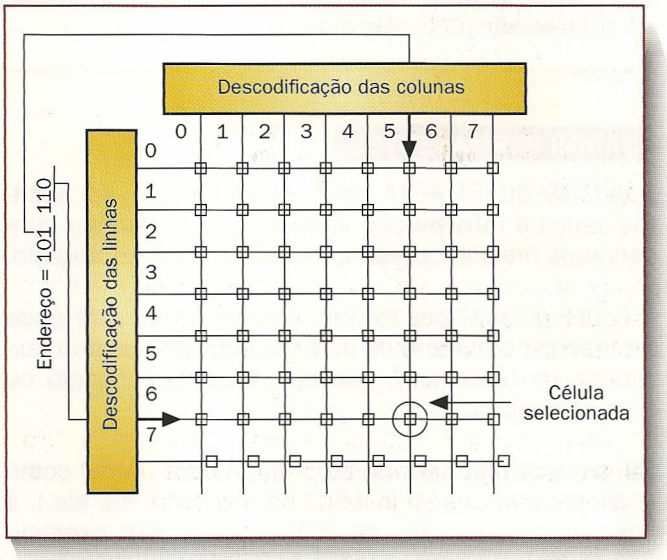
Várias ROM programáveis utilizam um MOSFET de porta dupla, um deles isolado do resto do circuito.

DESCODIFICAÇÃO

Em qualquer tipo de memória é necessário **selecionar** a célula desejada aplicando à entrada o endereço correspondente à da própria célula.

No interior do chip, este endereço é dividido normalmente em duas partes para que se possa realizar uma **matriz** eficiente, como mostra a figura.

Deste modo é possível utilizar decodificadores mais pequenos (no exemplo, dois de 3 bits no lugar de um de 6) e **minimizar** o número de ligações internas, para além do comprimento relativo, tão importante para a velocidade.



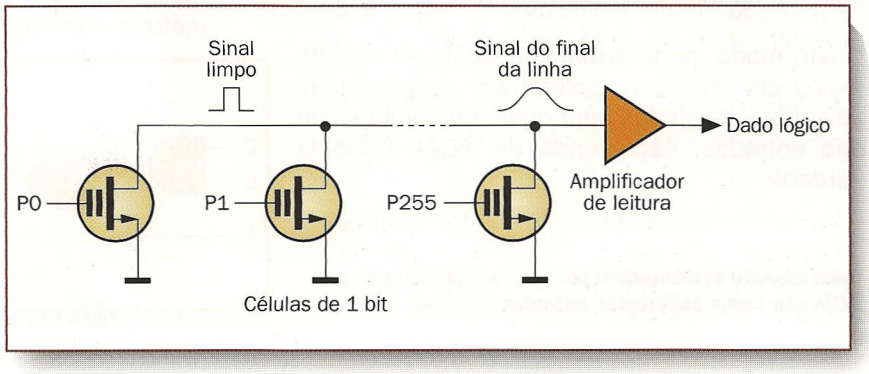
Descodificação da matriz: metade dos bits do endereço escolhem a linha, a outra metade a coluna: no cruzamento está o compartimento pedido.

OUTROS CIRCUITOS INTERNOS

As memórias são dispositivos digitais, mas no seu interior realmente são **analógicas**: por exemplo, os sinais lidos pelas células são muito fracos e são amplificados.

Deste modo, os sinais são **alterados** ao longo do percurso, como se tivessem atravessado filtros: o trabalho dos projetistas de memórias, especialmente se são de grandes dimensões, não é nada fácil.

As linhas de ligação entre as células apresentam uma **indutância** microscópica e uma pequena capacidade em direção à massa e também para outras linhas, para além da própria dos MOSFET.



O sinal enfraquece, torna-se lento e muda de forma enquanto viaja pelas linhas internas: é necessário reconstruí-lo adequadamente.

Usos de ROM e PROM

As ROM, sejam ou não programáveis, são utilizadas quando os dados devem permanecer também sem alimentação

Uma memória permanente pode carregar, sob a forma de código numérico, as **instruções** que um microprocessador (CPU) deve executar. São escritas em células posteriores da memória, como outras tantas filas numa folha de papel: cada instrução faz com que o CPU **execute** uma determinada operação.

Por exemplo, quando se liga um **computador pessoal**, este executa as instruções escritas numa ROM especial, chamada BIOS (Basic I/O System: sistema básico de entrada/saída): deste modo pode-se reconhecer o teclado, os discos, etc.

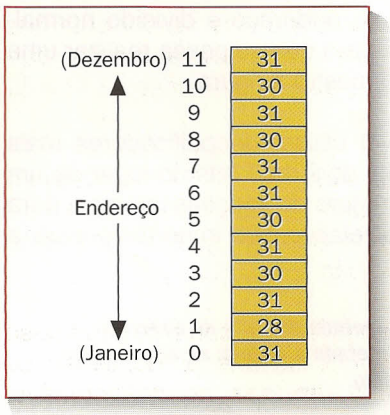
As instruções escritas no ROM especificam em pormenor as operações que o microprocessador (CPU) deve executar.

DADOS PERMANENTES

Nas ROM ou (EPROM, etc.) podem também ser escritos dados e **informação** variada, que devem ser conservados mesmo quando o dispositivo está desligado.

A figura mostra, por exemplo, como uma ROM pode **memorizar** o número de dias de cada mês do ano (excluídos os bissextos), que se utiliza num relógio ou num calendário.

Se associarmos um número para cada letra, como acontece com o código ASCII (A = 65, B = 66, etc.), é possível também pôr na ROM **textos**, por exemplo Salvat-Jackson Libri.



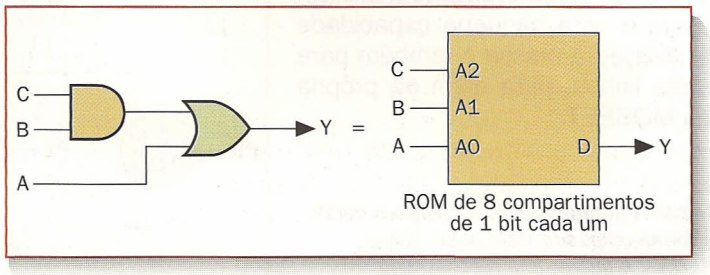
Dados de uma ROM: utilizando o número do mês (menos 1) como endereço, o compartimento selecionado contém o seu número de dias.

CIRCUITOS COMBINATÓRIOS ARBITRÁRIOS

Uma ROM aceita qualquer **combinação** de bits de endereço, e restitui um dado formado pelos bits escritos na fase da programação.

Deste modo, pode **substituir** qualquer circuito lógico combinatório: podem ser programadas as saídas desejadas para qualquer combinação das entradas, escrevendo na ROM a tabela verdade.

Na prática, esta solução é um pouco **cara**: veremos como as lógicas programáveis (por exemplo PAL e afins) permitem obter resultados similares com um método mais econômico.



Cada circuito combinatório pode ser realizado com uma ROM que tenha suficientes entradas e saídas.

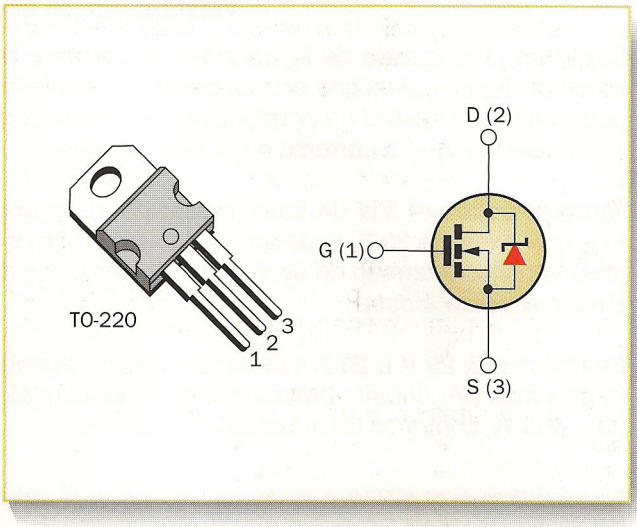
Dados dos MOSFET

Vejamos como podem ser lidos os dados principais de um transistor MOSFET de potência

O BUZ10 é um MOSFET de **canal N** de potência média para ser utilizado de uma forma geral: por exemplo como interruptor para as luzes ou motores, ou numa etapa final de um amplificador de áudio.

A figura mostra o aspecto físico do transistor e do seu **símbolo**, com a identificação dos dois terminais; deve-se observar que o substrato (body: corpo) está ligado internamente à origem.

Este MOSFET comporta-se como se incluísse um **diodo Zener** (ver a lição 14 de analógica) que permite a passagem de correntes fortes sem causar danos nos casos de excessos breves de tensão.



Aspecto e símbolo do BUZ10: a prática cápsula TO-220 está bastante difundida para os transistores de potência média.

LIMITES MÁXIMOS

A figura mostra os valores que não devem ser superados para evitar danificações; alguns deles, como a tensão entre a drenagem e a fonte (V_{DS}) a corrente (I_P) ou a potência (P_{tot}) são **similares** aos dos BJT.

Uma característica dos MOSFET é, portanto, a tensão **entre a porta e a fonte** (V_{GS}) que pode ser tanto positiva como negativa, não existindo nenhuma união com a excepção dos JFET.

Embora o dispositivo seja para 20 A máximos (I_P), pode suportar **durante alguns momentos** até 80 A (I_{DM}) de maneira que a duração não seja de tal forma que aqueça a união para além do seu limite (T_j).

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
V_{DS}	Voltagem de drenagem-fonte (V_{PO} = 0)	50	V
V_{DR}	Voltagem de drenagem-porta (R_{PO} = 20 KΩ)	50	V
V_{GS}	Voltagem de porta-fonte	±20	V
I_D	Corrente de drenagem (contínua) a T_c=25 °C	20	A
I_{DM}	Corrente de drenagem (pulsada)	80	A
P_{tot}	Dissipação total a T_c = 25 °C	80	W
T_{stg}	Temperatura de armazenagem	-65 to 175	°C
T_j	Temperatura de união operacional máxima	175	°C

Valores máximos absolutos que podem ser tolerados pelo BUZ10, dados essenciais que devem ser observados com atenção em qualquer projeto.

UTILIZAÇÃO COMO INTERRUPTOR

Dos dados informados na tabela vê-se, por exemplo, que existe uma determinada **corrente de perda** com o interruptor aberto I_{DOO} que depende bastante da temperatura.

É muito importante a **tensão do limiar** $V_{PO(um)}$ alcançada. O MOSFET, quando se trata de um aumento, começa a conduzir.

Símbolo	Parâmetro	Condições do teste	Min.	Tip.	Máx.	Ud
I_{DSS}	Corrente de drenagem da voltagem da porta zero (V_{DO} = 0)	V_{DO} = Valor Máx. V_{DO} = Valor Máx. T_j = 125 °C			1 10	µA µA
I_{GSS}	Corrente de perda do corpo da porta (V_{DO} = 0)	V_{DO} = ±20 V			±100	nA
$V_{GS(th)}$	Voltagem do limiar da porta	V_{DO} = V_{PO} I_D = 1 mA	2.1	3	4	V
$R_{DS(on)}$	Resistência ligada da drenagem-origem estática	V_{PO} = 10 V I_D = 13 A		0.06	0.07	Ω

Na **condução plena**, a resistência do canal $R_{DS(on)}$ é de apenas 0,07 Ω, necessitando-se, no entanto, de 10 V na porta para alcançar esta situação.

Dados importantes na utilização do MOSFET para o controle de cargas on/off, ou seja, ligadas/desligadas.

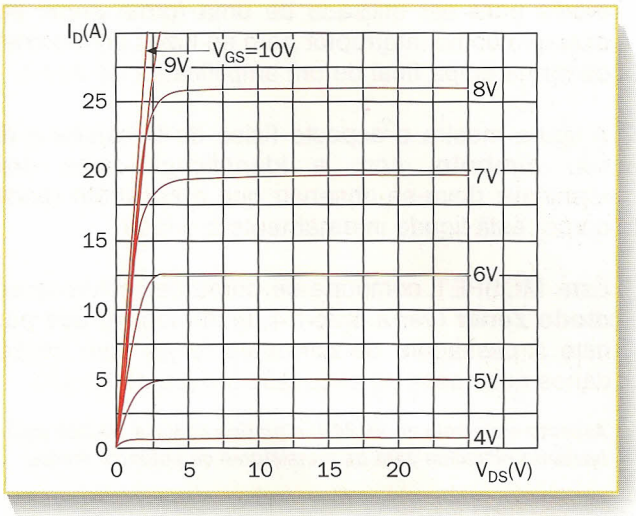
Dados dinâmicos

Quando o canal do MOSFET não está totalmente na condução ou totalmente interrompido, existem outros dados a serem considerados

Cada uma das curvas da figura indica a **corrente do canal** conforme a variação entre a drenagem e a fonte, para uma certa tensão da porta: acima de um determinado valor de V_{DS}, a corrente é quase constante.

Também pode ser lida de outra forma: devido a uma V_{DO}, por exemplo 20 V, pode-se ver como muda a corrente variando a **tensão da porta**, ou seja, passando de uma curva para a outra.

Naturalmente, 20 V e 20 A não podem estar presentes **juntos** mas sim durante breves instantes: seriam 20 x 20 = 400 W, contra os 80 máximos dissipáveis.



Características de do BUZ10; é importante recordar que as curvas indicam apenas valores típicos, que não estão garantidos.

TEMPOS DE COMUTAÇÃO

Um interruptor aberto não dissipa potência porque não existe corrente, e um que está fechado não a dissipa porque não existe tensão: somente **nas etapas intermédiarias** estão ambas presentes.

Um MOSFET de potência deve, portanto, comutar **rapidamente**: na figura ficam indicados os tempos do BUZ10 quando estão nas melhores condições.

Tempos de comutação: o tempo de subida é o do encerramento e o de descida é o da abertura.

Deve-se observar, em particular, o tempo de **atraso** na abertura $t_{d(off)}$: as capacidades internas devem ser descarregadas antes do canal poder deixar de conduzir.

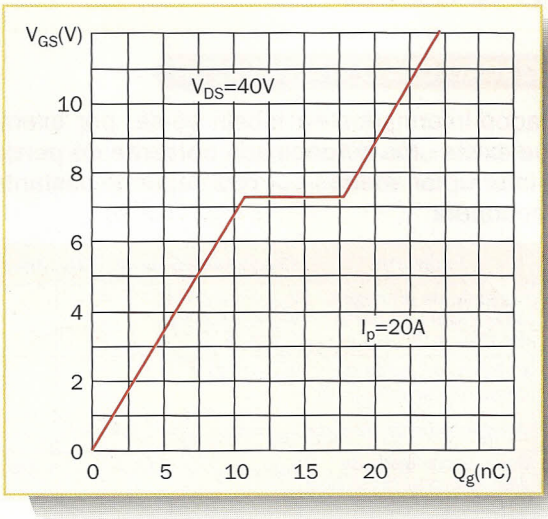
Símbolo	Parâmetro	Condições do teste	Min.	Tip.	Máx.	Unids
$T_{d(on)}$	Tempo de estar ligado	V_{DD} = 30 V I_D = 3 A		45	65	nseg
T_r	Tempo de subida	R_{GS} = 50 Ω V_{GS} = 10 V		65	95	nseg
$T_{d(off)}$	Tempo de atraso no desligado			115	160	nseg
T_f	Tempo de descida			80	120	nseg

CAPACIDADE E CARGA

A **capacidade parasita** mais incômoda é a existente entre a descarga e a porta: na realidade faz retroceder o sinal da saída, que se opõe às variações da entrada (efeito Miller, ver lição 15 de Analógica).

Os dados indicam que existem algumas capacidades, mas normalmente o mais interessante é a **carga elétrica** (em coulombs, que depois é um número de elétrons) requerida pela porta, que também está indicada na figura.

Esta carga elétrica obtém-se multiplicando **tempo e corrente**: por exemplo, para deslocar 10 nC (nanocoulombs) ao longo da curva podem ser enviados 10 nA durante um segundo, ou 10 mA durante um microsegundo.



Carga elétrica que é proporcionada à porta para fazer aumentar a sua tensão; a parte plana é devida ao efeito Miller.

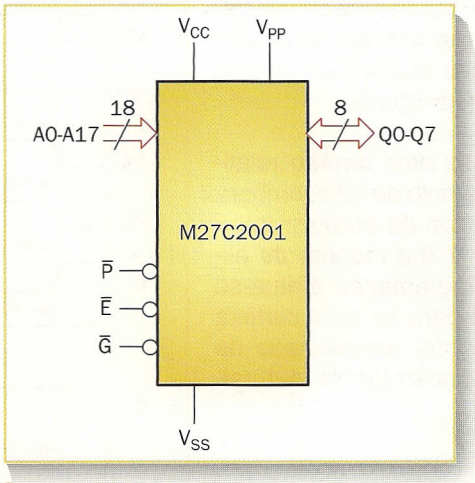
Dados da EPROM

Vejamos a folha de dados de uma EPROM típica, que poderá ser apagada com os ultravioletas e programável eletricamente

A 27C2001 é uma EPROM de 2 megabits, organizada como **256K x 8**, ou seja, 256K compartimentos de 8 bits (um byte) cada uma. Normalmente diz-se que é de 256 Kbytes.

O **esquema resumido** da figura faz sobressair o barramento de endereços (A0-A17), o barramento de dados (Q0-Q7), as alimentações e as linhas de controle.

Os dados indicam-se como **bidirecionais**, já que durante a programação entram na EPROM, embora no trabalho normal seja uma ROM e os dados apenas saiam.



Estrutura da EPROM: Ē habilita o chip, Ḡ habilita as saídas e P̄ serve para programar o conteúdo.

TEMPO DE ACESSO

É importante numa EPROM o tempo necessário para **ler** o conteúdo de um compartimento (aqui um byte); a figura mostra que a 27C2001 está disponível em versões com diferente velocidade.

O tempo de acesso é contado a partir da **variação** dos endereços (t_{ACC}), do chip select Ḡ (t_{CE}) ou da saída enable Ē (t_{OE}).

É importante também o **tempo de desligado** das saídas (t_{DF}): se várias EPROM estiverem ligadas ao mesmo barramento, as saídas devem ser desligadas antes de se ativarem as outras saídas.

A 27C2001-55 permite aceder aos dados em 55 nano-segundos, a versão mais econômica 90 é a mais lenta: 90 nseg.

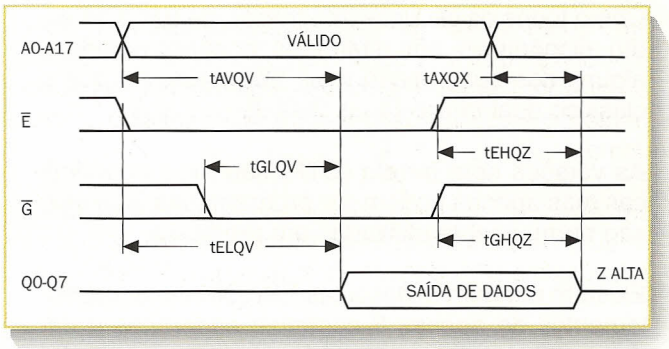
Símbolo	Alt	Parâmetro	Condição do teste	M27C2001								Unids
				-55		-70		-80		-90		
				Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	
t_{AVQV}	t_{ACC}	Endereço válido para a saída válida	$E = V_{IL}$ $G = V_{IL}$		55		70		80		90	nseg
t_{ELQV}	t_{CE}	Chip enable baixo válida à saída válida	$G = V_{IL}$		55		70		80		90	nseg
t_{GLQV}	t_{OE}	Enable de saída baixo válida com saída válida	$E = V_{IL}$		30		35		40		40	nseg
t_{EHQZ}	t_{DF}	Chip enable alto com saída Z alta	$G = V_{IL}$		30		30		30		30	nseg
t_{GHQZ}	t_{ADF}	Enable de saída alto com Z	$E = V_{IL}$		30		30		30		30	nseg

TEMPORIZAÇÕES

A figura mostra um **ciclo de leitura** típico: nos endereços A0-A17 põe-se o número do compartimento desejado e tanto o Ē como o Ḡ devem estar baixos (L).

Depois de concretizadas estas condições e os **tempos de acesso** para as três, os dados aparecem nas saídas Q0-Q7. Deve-se observar com atenção pois se o Ē e o Ḡ já estavam ativos anteriormente, os dados estavam presentes no barramento, mas não eram válidos.

Se mudarmos de endereço, um pouco mais tarde os dados já não são **válidos**: tirando o Ē ou o Ḡ, as saídas vão para uma alta impedância (Z), ou seja, ficam abertas.



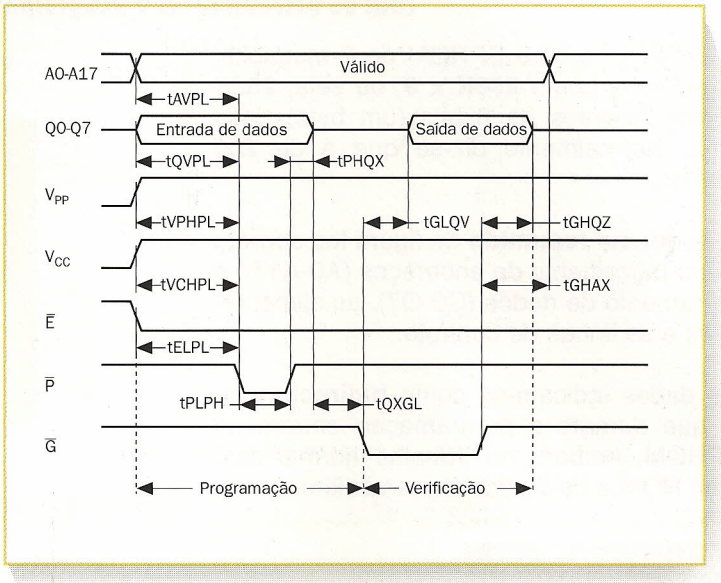
Período de leitura: os tempos de acesso são aqui indicados com as siglas mostradas na tabela de cima (coluna da esquerda).

Programação da EPROM

Os procedimentos de programação do conteúdo diferem de uma marca para a outra

Depois de apagada a EPROM com os raios ultravioletas, para que seja possível escrever dados novos o dispositivo **programador** deve aplicar uma seqüência exata de sinais, para tempos definidos pelo construtor (ver figura).

Normalmente é necessária uma **tensão** relativamente elevada, por exemplo de 12 V, embora alguns chips sejam capazes de produzir internamente partindo dos 5 V (ou menos) de alimentação. Depois da programação efetua-se sempre uma **verificação** para se ter a certeza de que cada bit se encontra armazenado de forma correta: deste fato encarrega-se, naturalmente, o programador.



Seqüência da programação e verificação de um compartimento (byte) de 27C2001, deve-se a tensão de V_{PP}.

FORMAS DE FUNCIONAMENTO

A figura mostra as possíveis **formas** em que se pode encontrar o 27C2001, em função do estado das linhas de controle: no caso de que, tanto o $\overline{E}$ como o $\overline{G}$, estejam baixos (V_{IL}, ou seja, L), está em leitura.

É interessante o estado da leitura da **assinatura eletrônica** que permite ao programador reconhecer o dispositivo que foi inserido na sua base.

Este fato requer a aplicação de 12 V sobre A9 e permite ler os bites (em função do valor A0) que **identificam**, respectivamente, o construtor e o modelo.

Modo	$\overline{E}$	$\overline{G}$	$\overline{P}$	A9	V_{PP}	Q0 - Q7
Leitura	V_{IL}	V_{IL}	X	X	V_{CC} o V_{SS}	Saída de dados
Inabilitação da saída	V_{IL}	V_{IH}	X	X	V_{CC} o V_{SS}	Z Alta
Programação	V_{IL}	V_{IH}	V_{IL} Pulso	X	V_{PP}	Entrada de dados
Verificação	V_{IL}	V_{IL}	V_{IH}	X	V_{PP}	Saída de dados
Inibição do programa	V_{IH}	X	X	X	V_{PP}	Z Alta
Baixo consumo	V_{IH}	X	X	X	V_{CC} o V_{SS}	Z Alta
Assinatura eletrônica	V_{IL}	V_{IL}	V_{IH}	V_{ID}	V_{CC}	Códigos

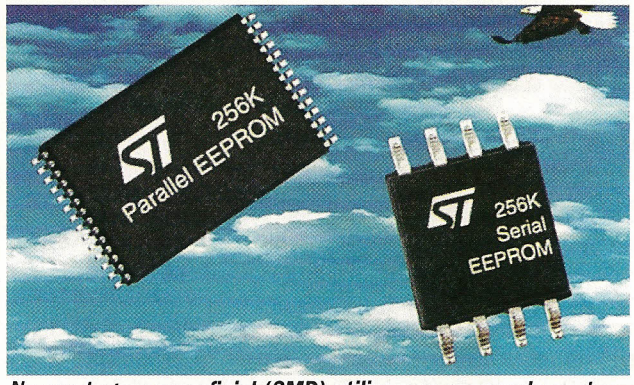
Formas de funcionamento do 27C2001: por exemplo, se o $\overline{E}$ está alto, o chip entra em modo de baixo consumo.

ENCAPSULAMENTO E OTP

Como todos os circuitos integrados, as EPROM estão disponíveis em diferentes encapsulamentos, alguns dos quais muito mais **pequenos** do que o clássico dual-in-line (duas filas de contatos).

As versões **sem janela** (OTP) são mais econômicas mas apenas podem ser programadas uma vez: são normalmente utilizadas em produção.

Existem também minúsculas EPROM em encapsulamentos de apenas 8 contatos: endereços e dados entram e saem **em série**, ou seja, um bit depois de outro num mesmo fio.



Na montagem superficial (SMD) utilizam-se encapsulamentos muito mais pequenos com uma grande poupança de espaço.

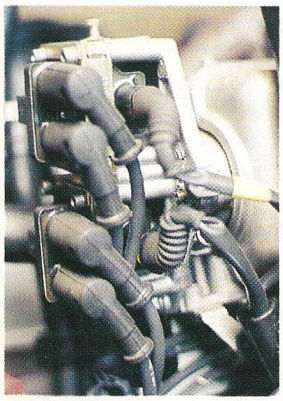
O centro de controle da injeção

O automóvel está cheio de pequenos computadores; um dos principais é o que controla o motor

No motor de um automóvel moderno, a gasolina entra pelos condutos de aspiração através de pequenas válvulas controladas por um eletroímã denominado **injetor**.

O centro de controle da injeção tem por objetivo determinar o **momento** exato e a **duração** da injeção, ou seja, da abertura dos injetores (abertura no sentido hidráulico: passa gasolina).

Normalmente, o mesmo centro de controle também produz o impulso de **ignição** que, através da bobina, chega às velas (ver a lição 10).



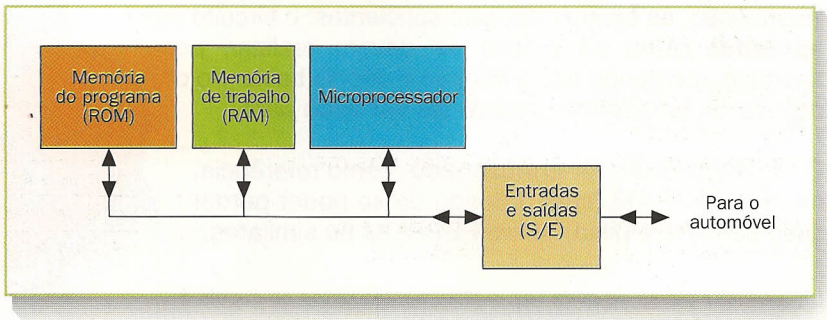
Quando recebe corrente, um injetor deixa passar a gasolina à pressão, vaporizando-a no conduto de aspiração.

MICROPROCESSADOR E PROGRAMA

O centro de controle da injeção é um **microcomputador** típico, no qual um microprocessador (CPU) executa as instruções de um programa: descrevem o que se pode fazer em cada situação possível.

Este fato permite evitar o projeto de um circuito lógico (hardware) complexo e custoso, substituindo este por um programa (**software**); o tema é tratado no curso de Digital.

As instruções do programa são escritas numa memória **ROM**: algumas vezes numa EPROM, e freqüentemente numa EEPROM ou flash,que se pode programar novamente para permitir atualizações sem substituir nenhum fragmento.

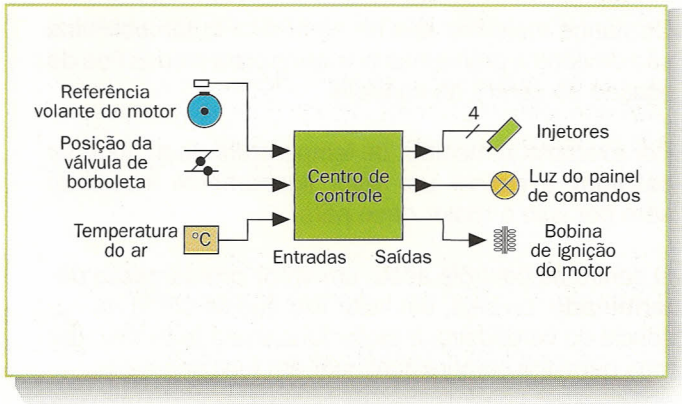


O programa do centro de controle, que diz como se devem comportar, está armazenado de fábrica numa memória especial.

ENTRADA E SAÍDA

No centro de controle recebe-se informação dos sensores através de **entradas** digitais (on/off) ou analógicas: estas últimas convertem-se em digitais com um ADC (ver a lição 21 de Digital).

As **saídas** que vão para os eletroímãs dos injetores são realmente interruptores de média potência: pode ser utilizado, por exemplo, um MOSFET.



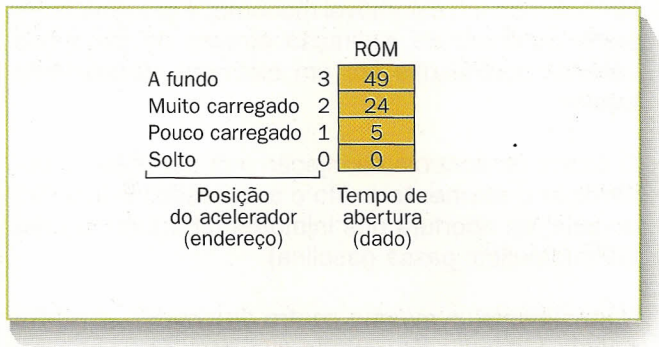
As entradas analógicas (continuamente variáveis) convertem-se em digitais com um ADC.

Tabelas, aprendizagem e segurança

Muito do trabalho do centro de controle consiste em simples consultas

Para simplificar, supomos que o centro de controle tem apenas que determinar a duração da abertura dos injetores de acordo com a **posição** do acelerador (válvula de borboleta). Para este fato é suficiente uma **tabela** em ROM, ou seja, uma série de dados em compartimentos sucessivos, como os que se apresentam na figura; cada dado representa o tempo durante o qual os injetores devem ficar abertos, de forma que a gasolina entre.

A posição do acelerador é o **índice** da tabela: indica o dado que se deve escolher. Um centro verdadeiro de controle contém várias tabelas, afinadas de uma forma pormenorizada por projetistas e encarregados dos testes.



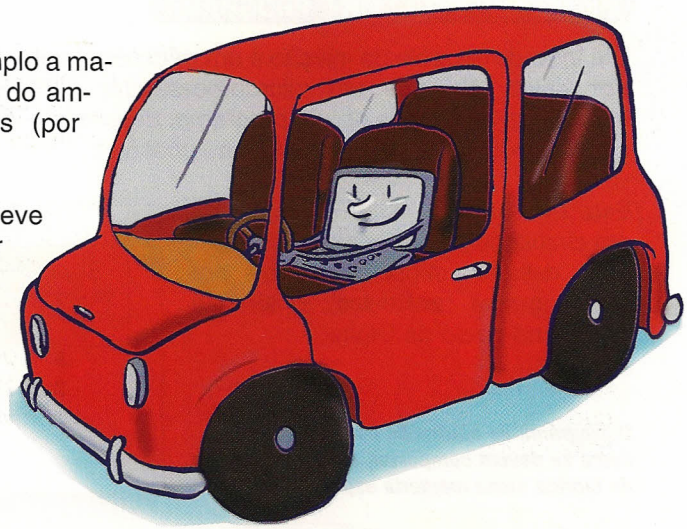
Exemplo simplificado da tabela: a posição do acelerador escolhe o tempo de abertura dos injetores.

APRENDIZAGEM E MEMÓRIA

Algumas situações são de difícil **codificação**: por exemplo a manutenção do mínimo depende também das condições do ambiente, da idade do motor, dos acessórios ligados (por exemplo, ar condicionado), etc.

Neste caso, as tabelas não são suficientes: o circuito deve **aprender** como na prática se devem realizar, por exemplo, mantendo alto o mínimo e depois baixando o mesmo de uma forma gradual até ver onde pára.

O resultado pode ser **armazenado**, como referência, na memória RAM (com o perigo de se poder perder caso se retire a pilha) ou no EEPROM ou similares.



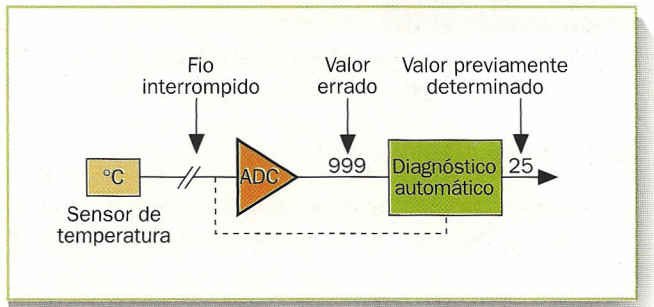
Um pequeno passo de cada vez, e chegaremos antes ou depois à condução totalmente automática.

DEFEITOS E VALOR PREVIAMENTE DETERMINADO

Os danos mais normais na eletrônica automobilística são devidos a problemas nos **sensores** ou dos fios de ligação ao centro de controle.

Por exemplo, o medidor de temperatura do ar pode se **estragar** e indicar um valor ligeiramente incorreto: nem por isso o motor deve parar.

O centro de controle adota um **valor previamente determinado**, ou seja, um valor fixo que se utiliza na ausência do verdadeiro: o motor funcionará mais devagar mas permitirá sempre continuar em funcionamento.



Se a ligação com o sensor for interrompida, o centro de controle adota um valor razoável para permitir chegar à oficina.

Limites do osciloscópio

Toda a ferramenta tem as suas limitações; portanto, é importante conhecê-las todas para que possam ser bem utilizadas

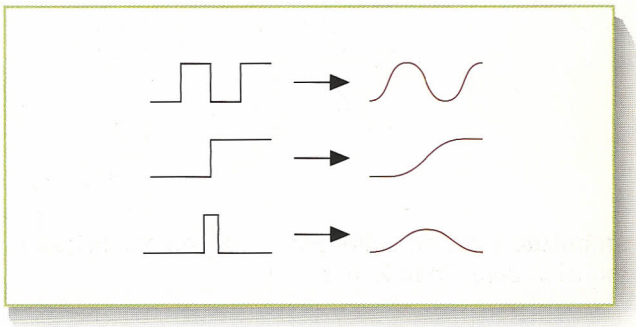
As ferramentas são sempre **úteis**, mas devem ser consideradas pelo que são: ajudas. Em nenhum caso devem substituir o bom senso.

Quem acredita **cegamente** no que as ferramentas indicam pode terminar tendo uma idéia totalmente diferente do que é a realidade, se não levar em conta os limites destes dispositivos.

O osciloscópio é uma das ferramentas mais úteis e importantes, mas também é aquela que deve ser analisada com mais atenção.

LARGURA DA BANDA

Se um osciloscópio chegar até 20 MHz de largura da banda, este fato significa que os sinais a partir desta freqüência virão mais ou menos **atenuados**.



Uma das conseqüências deste fato é mostrada na figura: uma onda quadrada de 20 MHz perde os **harmônicos** (ver lição de Analógica) e, no máximo, poderia permanecer apenas o fundamental, ou seja, uma senoide.

Pelo mesmo motivo, uma frente da onda é **arredondada**, ao passo que um impulso breve pode ser alargado e enfraquecer, ou mesmo desaparecer totalmente.

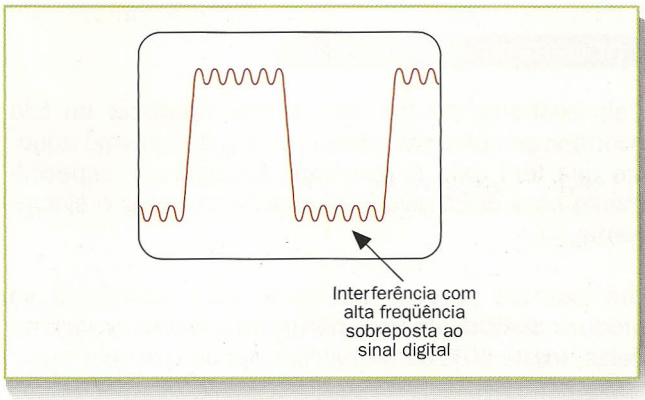
A perda dos harmônicos superiores redondeia os sinais: especialmente no campo digital, este fato pode dar lugar a erros de avaliação.

SINAL E INTERFERÊNCIA

Freqüentemente, a sonda do osciloscópio capta (por via capacitada ou indutiva) **interferências** produzidas por circuitos muito próximos, especialmente se a pinça da massa for ligada longe do ponto na qual é medida.

Algumas vezes é suficiente **ligar** a ponta da sonda à sua própria massa para ver as interferências na tela: temos que contar com elas para que não se confundam com o sinal que vai ser medido.

Reciprocamente, a capacidade da sonda ou (menos comum) a sua resistência, podem **interferir** no circuito, falsificando a medida ou mesmo alterando o seu funcionamento.



Sinal digital com interferência analógica, por exemplo por uma ligação errada da massa ou um forte campo electromagnético.

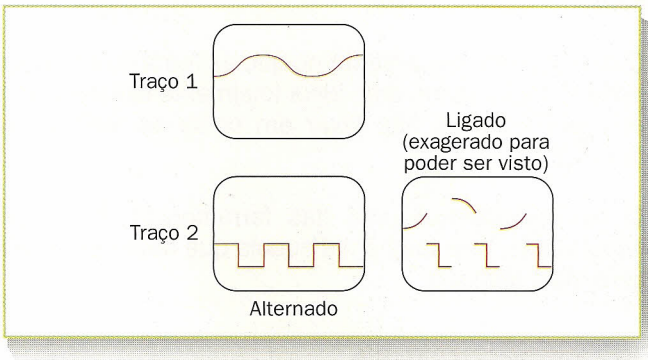
Artefatos

Em determinadas condições podem aparecer na tela acontecimentos que não existem no circuito

Quando a base de tempos é rápida, os diferentes traços são desenhados **alternativamente**: em cada passagem é desenhado apenas um: este é o modo alterno.

No entanto, para baixas velocidades, utiliza-se o modo **ligado**: o ponto luminoso salta continuamente de um traço para o outro, produzindo a ilusão de que estão sendo todas desenhadas ao mesmo tempo.

Se o modo ligado ficar inserido também para velocidades médias ou altas, podem aparecer **linhas** verticais, interrupções horizontais ou ondas quadradas que não têm nada que ver com o circuito que se está medindo.



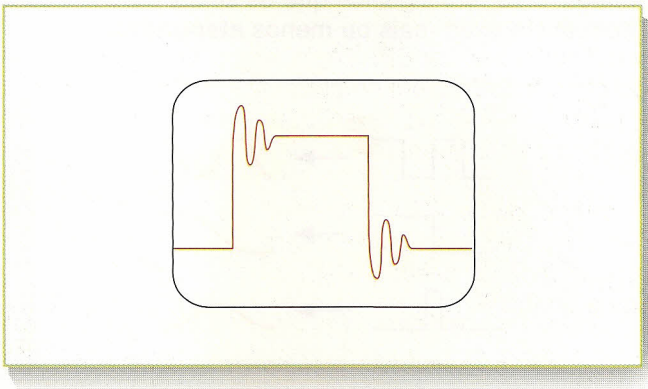
Os dois modos de funcionamento dos osciloscópios de vários traços são: um traço de cada vez, ou um pedaço para cada um.

OSCILAÇÃO AMORTECIDA

Não são somente os sinais digitais que empregam um certo tempo para mudar de estado (ver lição 8 de Digital), mas também porque tendem a ter uma breve **oscilação amortecida** logo a seguir a cada transição.

Esta oscilação é devida às inevitáveis pequenas indutâncias e capacidades constituídas pelas **ligações** do circuito, e em alguns casos pode mesmo criar problemas, especialmente com os circuitos muito rápidos.

Infelizmente, também os fios do osciloscópio, especialmente a ligação da massa, **causam** oscilações amortecidas: como conseqüência desse fato, resulta algumas vezes complicado distinguir entre o verdadeiro (do circuito) e o da sonda.



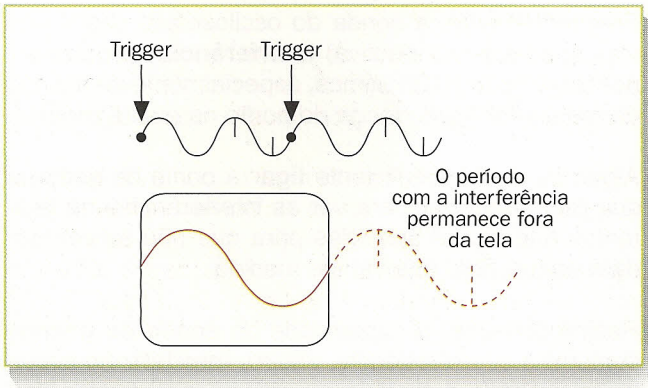
Oscilações amortecidas depois de uma transição num sinal digital... talvez criado nas ligações com o osciloscópio que o mede.

OCORRÊNCIAS INVISÍVEIS

Pelo contrário, podem nem sequer **aparecer** na tela ocorrências que se verificam no circuito, mesmo aquelas que têm uma determinada importância, especialmente se é difícil utilizá-las para fazer saltar o sincronismo.

Um exemplo aparece na figura: se a ocorrência se produzir **de dois em dois períodos** e na tela se vir uma delas, existe 50% de probabilidades de que seja vista.

Neste caso basta **atrasar** a base de tempos de modo que seja possível ver dois ou vários períodos: provavelmente poderá ser vista a ocorrência sobreposta ao traço normal, mas menos luminoso.



Os períodos pares não são mostrados, pelo que a interferência não aparece na tela: é necessário atrasar a base de tempos.

Termostato de 12 V

Um dispositivo para regular automaticamente a temperatura

As preocupações por efeito do ar forte das serras, da altitude, da neve ou de outras mudanças climáticas, são devidas ao fato de bastarem **poucos graus** a mais ou a menos para mudar radicalmente a vida na terra.

Sem falar de catástrofes, também na vida quotidiana encontramos numerosas situações nas quais é necessário manter **constante**, nos limites do possível, a temperatura de um objeto ou de um ambiente.

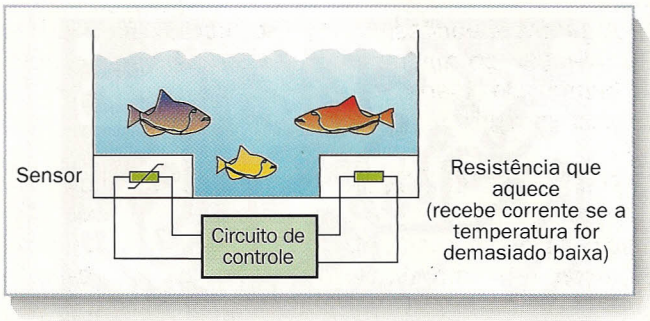
Citemos por exemplo o sistema de **aquecimento** da casa, o frigorífico, o ar condicionado, o aquário, o aquecedor de banho, o forno elétrico, o freezer, o ferro de passar, etc.

TERMOSTATOS

A palavra termostato indica um ambiente no qual a temperatura (termo) se mantém constante e, portanto, no regime estático (stato), mas o termo é utilizado com freqüência para referir-se ao **dispositivo** de controle.

O sistema requer um **sensor** que detecte a temperatura (vulgarmente chamado, como já dissemos, o termostato) e um **controlador** que a faça subir ou descer se estiver fora dos limites indicados.

O nosso circuito desenvolve justamente a função de sensor, **medindo** a temperatura e controlando um relê, que deverá ser ligado ao dispositivo que desenvolva calor ou frio.



Num aquário, quando a temperatura é demasiado baixa, o termostato envia corrente para uma resistência, que aquece a água.

APLICAÇÕES

Diz-se que um dispositivo auto-regulado, como o que acabamos de descrever, funciona com **argola fechada**: controla a temperatura que, por sua vez, é medida à entrada.

O termostato eletrônico pode ser utilizado, por exemplo, para controlar um pequeno **ventilador** situado em frente do dissipador de um transistor de potência: se aquecer demasiadamente, é esfriado.

No entanto, nada impede utilizar o circuito da argola aberta, ou seja, como um simples **indicador** de temperatura, por exemplo para fazer soar um alarme caso se detecte algum problema no freezer da casa.

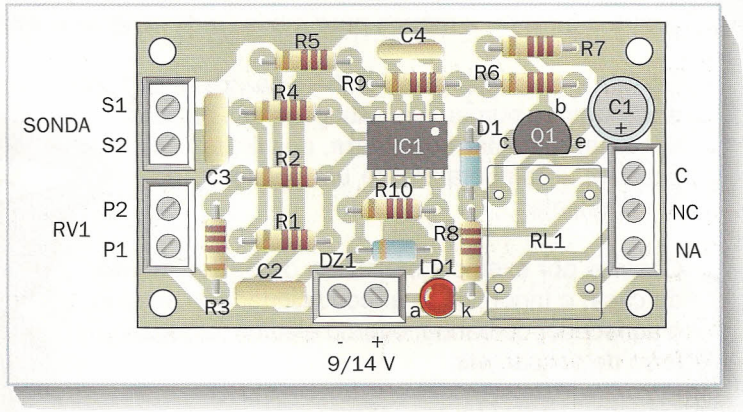
A temperatura do frigorífico está regulada por um termostato que não é especialmente sofisticado.

Montagem do circuito

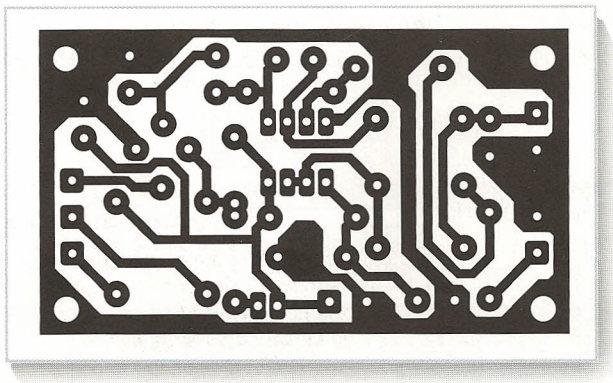
Todos os componentes, com a excepção da sonda térmica, o potenciômetro para a configuração e a fonte de energia de 9 a 12 V_{CC}, encontram o seu lugar na pequena **placa** que se pode ver na figura.

Como é habitual, é conveniente montar os componentes por alturas, tendo muito cuidado com a correta **orientação** dos que já são polarizados: electrolíticos, diodos (incluído o LED) e o transistor.

O relê não apresenta problemas, podendo ser montado apenas de uma maneira, ao passo que o **integrado** IC1 (para o qual se pode utilizar um soquete) pode estragar-se irremediavelmente se a montagem estiver ao contrário.



Disposição dos componentes na placa do circuito impresso do termostato eletrônico.



Circuito impresso do termostato, visto pelo lado das soldaduras.

LIGAÇÕES EXTERNAS

Dois fios vão para a **alimentação** (braçadeiras + e -, atenção à polaridade), dois para o potenciômetro (P1 e P2) e outros dois para o sensor térmico (régua S1 e S2).

Na ligação do **potenciômetro**, o pior que pode acontecer é um funcionamento com escala inversa (vira-se o comando para subir a temperatura ou então baixa-se, ou vice-versa).

Os contatos do relê, responsável pelas reduzidas distâncias do isolador, não **se utilizam** para a tensão da rede (220 V_{CA}); se necessário, pode-se acrescentar um relê ou tele-ruptor externo, que esteja bem isolado.

O SENSOR

A temperatura é detectada por um resistor sensível à temperatura, ou **termistor**, cujo valor muda, com valores típicos, como se indica na tabela.

Como a resistência aumenta quando sobe a temperatura, ela é do tipo **PTC** (Positive Temperature Coefficient: coeficiente de temperatura positivo).

Por se tratar de um resistor, este não tem nenhuma **polaridade**; pode ser montado também longe do circuito, tendo o cuidado de não entrar em contato elétrico com outros dispositivos.

T. ambiente °C	Resistência Ω
-55	490
-50	515
-40	567
-30	624
-20	684
-10	747
0	815
10	886
20	981
25	1000
30	1040
40	1122
50	1209
60	1299
70	1392
80	1490
90	1591
100	1696
110	1805
120	1915
130	2023
140	2124
150	2211

Para evitar a captação de interferências, se o fio superar os dez centímetros, é preferível utilizar **fio blindado**, ligando a malha da massa associada ao terminal S2.

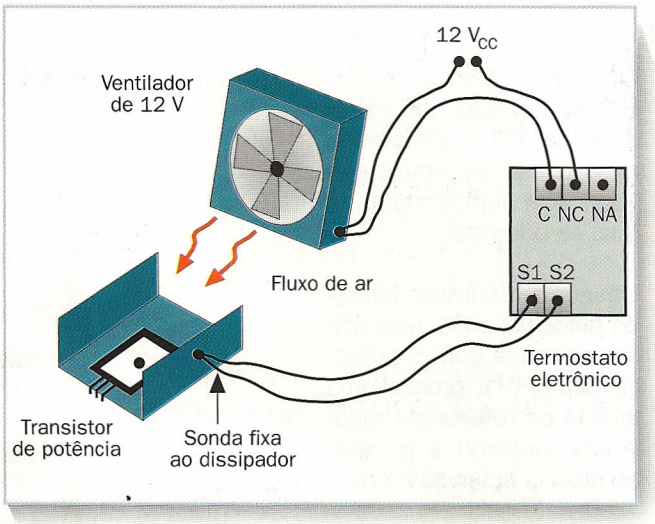
Valores típicos da resistência do termistor PTC utilizado no projeto, para diferentes temperaturas.

TESTE

Para verificar o funcionamento do termostato é suficiente aplicar a alimentação e **rodar** lentamente o comando de controle de um extremo para o outro do percurso.

Num determinado ponto, dependente da **temperatura** do sensor, o relê deve saltar (tem-se visto também no LED); virando o potenciômetro levemente no sentido oposto, este deve voltar para a posição anterior.

Com a ajuda do termômetro, pode-se **indicar** a temperatura de intervenção de uma escala graduada à volta do potenciômetro, repetindo o teste com diferentes temperaturas do ambiente.



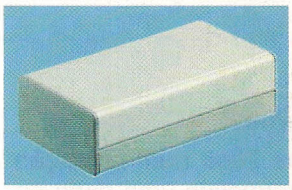
Uma possível aplicação: o controle automático de um pequeno ventilador de refrigeração.

CAIXA

O dispositivo pode ser montado numa pequena caixa ou encapsulamento de **plástico**, não sendo necessária nenhuma proteção especial (à parte, como já indicamos, sobre o fio do sensor).

O sensor pode estar simplesmente **exposto** ao ar, se quisermos medir a temperatura ambiente, ou fixá-lo ao dispositivo que se deseja controlar, por exemplo com uma cauda termo-condutora.

Se o circuito tiver de funcionar simplesmente como **alarme** porque está calor ou frio em demasia, pode-se montar internamente a campainha, fazendo uns orifícios para que possa passar o som.



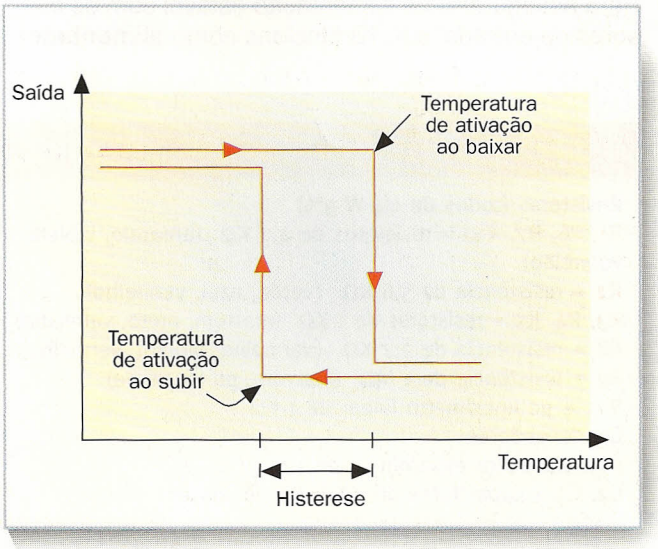
Exemplo de uma caixa de plástico adequada para o termostato; deverão ser feitos na mesma dois furos para o potenciômetro e para o LED.

HISTERESE

Se o circuito fosse ativado num ponto exato, bastaria uma mínima **oscilação** da temperatura, ou apenas uma pequena interferência, para que saltasse continuamente nos dois sentidos.

Este fato não pode acontecer, porque se lhe acrescentou uma pequena **histerese**: uma vez que o relê saltou porque a temperatura superou o ponto marcado, este último desloca-se um pouco mais para baixo.

Deste modo, a temperatura deverá **diminuir** um pouco mais para voltar para a posição de repouso (ver figura); obtém-se assim uma boa estabilidade, reduzindo levemente a precisão.



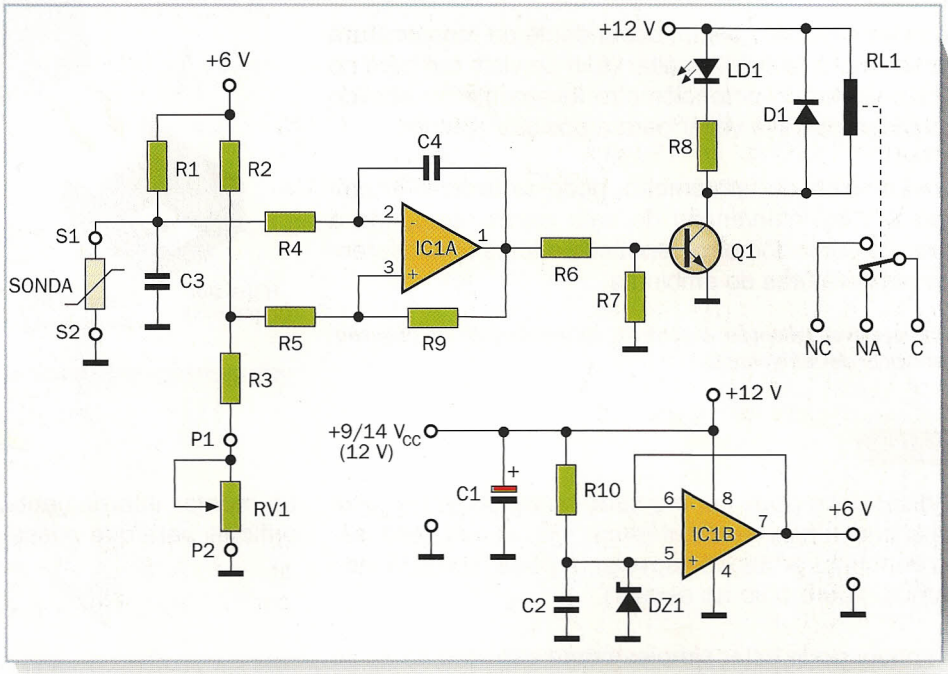
A histerese, necessária para a estabilidade, faz com que a temperatura da ativação seja distinta nos dois sentidos: existe uma zona vazia no centro.

Funcionamento do circuito

O termistor (sonda) forma um **divisor** com o resistor R1, produzindo nos extremos de C3 uma tensão mais alta quanto mais elevada é a temperatura na qual se encontra.

Um segundo divisor, formado pelos R2 e R3, este último em série com o potenciômetro RV1, produz uma tensão de **referência** reguladora variando a posição do próprio potenciômetro.

O IC1 funciona como **comparador**, ou seja, compara as duas tensões: se a primeira que é controlada pela temperatura é inferior à segunda, a saída está alta: o Q1 conduz e o relê salta.



Esquema elétrico do termostato eletrônico.

HISTERESE E ESTABILIDADE

A histerese é obtida com uma fraca **realimentação positiva**: o R9 faz com que retroceda uma parte da tensão da saída, deslocando ligeiramente o limiar de comparação quando se produz uma ligação.

Para assegurar uma alimentação estável com os divisores da entrada, o IC1B funciona como **alimentador estabilizado**: faz de buffer para a tensão estabilizada produzida pelo diodo Zener DZ1.

Os capacitores C3 e C4 têm a função de **anti-interferências**: formam filtros passa-baixa que evitam ligações acidentais; não interferem com as variações de temperatura, que são lentas.

LISTA DE COMPONENTES

Resistores (todos de 1/4 W 5%)
R1, R6, R7, R10 = resistores de 4,7 KΩ (amarelo, violeta, vermelho)
R2 = resistência de 5,6 KΩ (verde, azul, vermelho)
R3, R4, R5 = resistores de 1 KΩ (marrom, preto, vermelho)
R8 = resistência de 2,7 KΩ (vermelho, violeta, vermelho)
R9 = resistência de 1 MΩ (marrom, preto, verde)
RV1 = potenciômetro linear de 1 KΩ
Condensadores
C1 = capacitor electrolítico de 470 µF 16 V
C2, C3 = capacitores de poliéster de 100 nF
C4 = capacitor cerâmico de 220 pF
Semicondutores
D1 = diodo de silício 1N4002
DZ1 = diodo Zener 6,2 V - 1/2 W
Q1 = transistor NPN BC237 ou equivalente
IC1 = LM358
LD1 = diodo LED vermelho de 3 mm
Vários
SONDA = termistor PTC modelo KTY81-110
RL1 = relê de 12 V, um contato de intercâmbio de 2 A
3 terminais de parafusos de dois postos
1 circuito impresso